



# L'érosion des sols sur roches métamorphiques en milieu méditerranéen provençal : les enseignements d'une station expérimentale

Claude Martin

## ► To cite this version:

Claude Martin. L'érosion des sols sur roches métamorphiques en milieu méditerranéen provençal : les enseignements d'une station expérimentale. *Revue de Géomorphologie Dynamique*, 1975, XXIV, pp.49-63. hal-00452397

**HAL Id: hal-00452397**

**<https://hal.science/hal-00452397>**

Submitted on 2 Feb 2010

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## L'ÉROSION DES SOLS SUR ROCHES MÉTAMORPHIQUES EN MILIEU MÉDITERRANÉEN PROVENÇAL : LES ENSEIGNEMENTS D'UNE STATION EXPÉRIMENTALE

par Cl. MARTIN \*

U.E.R. de Géographie, Université de Paris I, 191 Rue Saint-Jacques, 75005 Paris.

**ABSTRACT:** The study of data from a testing station for measuring the erosion of soils enables a better understanding of erosive phenomena under the mediterranean climate of Provence.

The station includes a cleared plot and a covered plot, both set up on a slope averaging 24°. The soil is a very stony ranker; its texture is sandy and its structure fairly lumpy. The underlying micaschists have a flow structure roughly perpendicular to the topographic slope.

Clearing the vegetation has a multiplying effect on the mechanical processes:

- Over 21 months, the runoff coefficient was over 20 % on the cleared plot and under 2 % on the covered one (1492.7 mm of rain fell during this period). The link between the topographic slope and the underlying rocks structure facilitates soaking of weathered rocks and hypodermic permeation. On the other hand, rocky outcrops stop hypodermic permeation and plants prevent sheet wash. Rows of less weathered rocks divide the slope into sectors and in each one runoff is influenced by the conditions upslope and downslope.
- Also over 21 months, the solid matter losses were 545 kg for the cleared plot (over an area of 220 sqm) and almost none for the covered one. The multiplying effect of clearing was felt immediately because of the low structural stability of the soil itself. The average turbidity of waters run-off during a strong shower increases when the shower is short, because during a prolonged downpour a thick sheet of water forms on the surface. The progressive loosening of stones allows them, in the long run, to be shifted by the heavy runoff which develops during the strongest showers.

The dissolved load of run-off waters from the cleared plot depends largely on the mechanical efficiency of the rain.

The analysis of waters collected in runoff traps, in piezometers and from springs show the influence of the relationships between rocks structure and topography. Soaking of the soil modifies ions exchanges between solutions and the adsorbing complex as well as biological activity: it increases the removal of sodium and sulphate ions but slows down the removal of calcium and nitrate ions (the soil loses nitrogen by denitrification). Also the slowing of runoff encourages the movement of silica.

Clearing of vegetation does not increase chemical erosion, in the short term at least. Nonetheless it impoverishes the soil.

**RÉSUMÉ :** Une station expérimentale d'érosion des sols est située sur un versant dont la pente est de 24°. Le couvert végétal a été conservé sur l'une des parcelles ; il a été enlevé sur l'autre. Le sol est un ranker sur micaschistes.

Le défrichement a un effet multiplicateur sur les processus mécaniques (pour 21 mois : le coefficient de ruissellement a été supérieur à 20 % sur la parcelle déboisée et inférieur à 2 % sur la parcelle boisée ; 545 kg de terre ont été exportés de la parcelle déboisée – pour une superficie de 220 m<sup>2</sup> – et pratiquement rien de la parcelle boisée). La relation entre l'architecture des roches et la pente topographique a une influence essentielle sur l'écoulement et l'érosion chimique.

Deux années d'exploitation d'une station expérimentale pour l'étude de l'érosion des sols siliceux du massif des Maures complètent l'analyse des phénomènes érosifs sous climat

méditerranéen provençal (G. CLAUZON et J. VAUDOUR, 1969, 1971. Ces auteurs ont longuement décrit le matériel utilisé).

Notre station (composée d'une parcelle couverte et d'une parcelle défrichée) est installée au lieu-dit les Ribières (Draguignan au 1/50000 :  $x = 938,6$  ;  $y = 134,3$  ;  $z = 50$ ) sur un versant de la vallée de l'Argens. Le versant est court (100 m). Orienté NE-SW, il est bien exposé aux pluies de SE (les plus fréquentes). La pente moyenne des champs expérimentaux est de  $24^\circ$ .

La région a un climat "méditerranéen tempéré"; coefficient pluviothermique d'EMBERGER = 101,9 au Luc ( $t^\circ\text{C moy.} = 14,5$  ;  $t^\circ\text{C moy. en juillet} = 23,5$  ;  $t^\circ\text{C moyenne en janvier} = 1,5$ ). Aux Arcs, les précipitations moyennes annuelles sont de 819,4 mm. Pendant nos recherches, les précipitations ont manifesté des caractères singuliers (fig. 1).

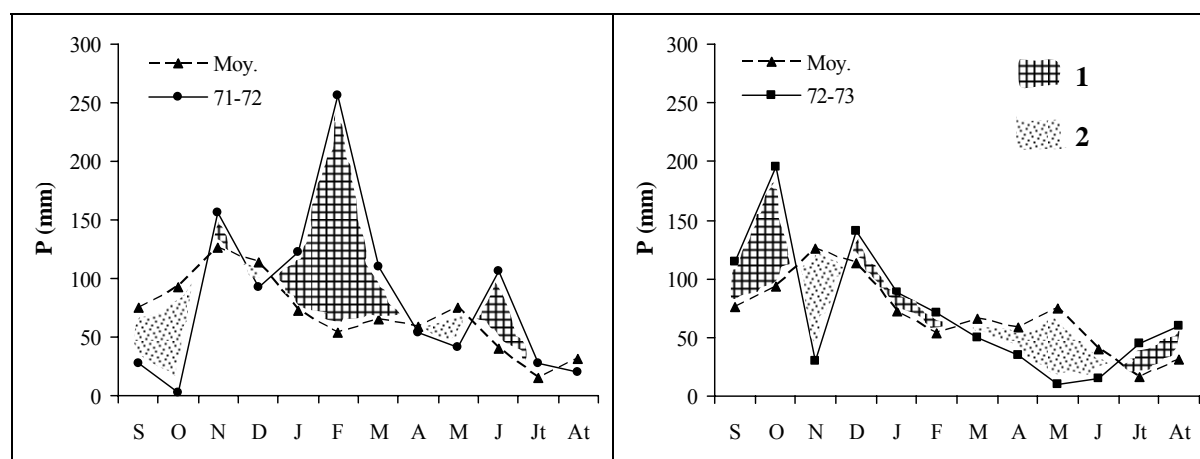


FIG. 1 - Les Arcs : précipitations en 71-72 et 72-73.

FIG. 1 - Les Arcs: rainfalls in 71-72 and 72-73.

1 : excédent (*excess*). 2 : déficit, par rapport aux précipitations moyennes, pour 21 années climatiques (*deficit, refering to the average rainfalls, for 21 climatic years*).

Le sol (sur micaschistes) est un xéro-ranker de pente. Il provient de la brunification et du lessivage d'une formation de solifluxion würmienne peu épaisse. On trouve cette formation de solifluxion rubéfiée en bas de versant où elle vient recouvrir les alluvions de l'Argens (son évolution a donné un sol "brun-ranker"). Le sol de la station est caractéristique des sols sur roches métamorphiques du massif des Maures :

- A<sub>0</sub> : très mince.
- A<sub>11</sub> : gris foncé, 0 à 2 cm. Sableux-grumeleux à particulaire.
- A<sub>12</sub> : brun-gris, 0 à 30 cm. Sableux (en %, T.F. = 50 et 54 ; S = 78 ; L = 13,5 ; A = 8,3)<sup>(1)</sup> ; particulaire à submotteux (structure peu marquée).
- C-R : micaschistes massifs mais friables, ocres.

<sup>(1)</sup> T.F. = terre fine (ensemble des particules dont la largeur est inférieure à 2 mm) ; S = sables (largeur des éléments = 2 à 0,05 mm) ; L = limons (diamètre théorique des éléments = 0,05 à 0,002 mm) ; A = argiles.

En A<sub>12</sub> : pH (eau) = 5,6 et 6,3 ; C/N = 14,7 et 17,2 ; M.O. = 2,2 et 3,1 % ; Capacité d'échange (11 et 12 mé/100 g) saturée à 62 % (en mé/100 g : Ca<sup>++</sup> = 5,66 et 4,81 ; Mg<sup>++</sup> = 1,43 et 1,24 ; K<sup>+</sup> = 0,38 et 0,33 ; Na<sup>+</sup> = 0,19) ; PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> = traces<sup>(2)</sup>.

La schistosité et la foliation des micaschistes sont parallèles. Leur direction, comme celle de la stratification, est grossièrement perpendiculaire à la pente topographique. Le pendage est très fort ; son sens est opposé à celui de la pente du versant. Certains bancs de micaschistes forment de petits chicots.

Le versant est couvert par une suberaie (aux chênes dispersés) envahie par le maquis. Une pelouse ou des mousses masquent localement le sol. Les pins morts sont nombreux, mais les jeunes pins sont rares.

## I. L'ÉCOULEMENT

L'exposition joue peu : le plus souvent les gouttes de pluie tombent verticalement.

### A. Parcelle déboisée (188,7 m<sup>2</sup>)

a) Coefficients de ruissellement saisonniers et mensuels (voir Tab. I à III).

L'automne 72 a eu le coefficient de ruissellement le plus élevé devant les hivers 71-72 et 72-73. Le dessèchement du sol et la carence des précipitations permettent de comprendre, malgré la violence des pluies, la faiblesse des coefficients estivaux.

Les coefficients mensuels mettent en évidence les influences :

- de la saturation du sol par les précipitations très abondantes (comparaison entre février et mars 72) ;
- de l'intensité des précipitations (comparaison entre mars et avril 72 et entre septembre et octobre 72) ;
- du dessèchement du sol (comparaison entre avril et juin-juillet 72).

Septembre 72 a eu le coefficient le plus fort malgré le dessèchement initial du sol et des roches altérées. Le volume, la répartition et l'intensité des précipitations ont joint leurs effets.

Le coefficient de décembre est surprenant.

b) Coefficients de ruissellement journaliers (voir fig. 2).

Le coefficient de ruissellement est commandé par l'état hydrique du sol et des roches altérées, le volume des précipitations, les intensités de la pluie. Toutes autres choses étant égales, le coefficient journalier sera d'autant plus fort que les précipitations seront tombées en un plus petit nombre d'averses.

Le coefficient du 5-9-72 a été de 61,8 % : les précipitations du 5 furent très abondantes (68,4 mm) et très violentes (int. moy. = 24 mm/h) ; de plus, elles venaient après celles des 3 et 4-9 (13,2 mm).

Le coefficient du 28-12-72 a été de 86,4 %, en dépit d'un troisième quartile des intensités momentanées de la pluie de 4,8 mm/h seulement. Une crue de l'Argens a provoqué le blocage

<sup>2</sup> Les analyses des échantillons du sol ont été effectuées par le Centre de l'I.N.R.A. d'Antibes.

d'une grande partie de la circulation des eaux au niveau des roches altérées. En éliminant les mesures du 28, le mois de décembre aurait un coefficient de 14,7 % et l'hiver 72-73 un coefficient de 14,6 %.

TABLEAU I - Parcelle déboisée : coefficients de ruissellement saisonniers et facteurs climatiques.

TABLE I - *Bare plot: seasonal runoff coefficients and climatic factors.*

71-72	Hiver	Print.	Été	72-73	Aut.	Hiver	Print.	Été	Année
C	27,4	10,8	8,9	C	33,2	22	3,8	17,5	24,6
V	21 320	3 971	1 621	V	18 440	9 730	545	1 647	30 362
P	453,3	214	106	P	323,2	258	83,4	54,8	719,4
i. moy.		4,8	8,5	i. moy.	20	3,9	3,3	63,2	15,5
T°C	7,8	12,8	21,1	T°C	14	8,6	12	20	13,6

C : coefficient de ruissellement, en % (*runoff coefficient, in %*). V : volume d'eau ruisselé, en l (*volume of runoff water, in l*). P : précipitations, en mm (*rainfalls, in mm*). i. moy. : moyenne arithmétique des intensités momentanées de la pluie, en mm/h (*arithmetic mean of momentary intensities of the rain, in mm/h*). T°C : température moyenne au Luc (*average temperature at Luc*).

Automne : septembre, octobre, novembre (*autumn: september, october, november*). Hiver : décembre, janvier, février (*winter: december, january, february*). Printemps : mars, avril, mai (*spring: march, april, may*). Été : juin, juillet, août (*summer: june, july, august*).

TABLEAU II - Parcelle déboisée ; 1971-72 : ruissellement et facteurs climatiques.

TABLE II - *Bare plot; 1971-72: runoff and climatic factors.*

	D	J	F	M	A	M	J	Jt	At
C	22,9	36,8	24,3	9,4	15,2	6,7	9,5	9,5	0
V	3 620	7 738	9 962	1 644	1 846	481	1 336	285	0
P	92,2	122,5	238,6	101,8	70,8	41,4	82	17,6	6,4
i. moy.			3,5	3	8,7	2,7	7,3	16,8	2,4
i. méd.			2,8	2,6	4	2,8	4,8	16,8	2,1
i. Q1			1,8	1,5	1,6	2	2,4	16,8	2,1
i. Q3			4	4,8	8,8	3,7	8,4	16,8	7,2
P/2 j	52,2	76,2	93,6	47,8	18,8	38,2	48,6	17,6	4,2
≥ 20	2	1	6	2	0	1	1	0	0
T°C	7,6	7	9	10,7	12,3	15,6	19,5	22,7	21,3
Ev.					86,3	123,3	107,9	131	138,9

Voir tableau I (*see table I*).

i. méd. : médiane des intensités momentanées de la pluie, en mm/h (*median of momentary intensities of the rain, in mm/h*). i. Q1 et i. Q3 : quartiles des intensités momentanées de la pluie, en mm/h (*quartils of momentary intensities of the rain, in mm/h*). P/2 j : précipitations maximales en 48 heures, en mm (*maximum rainfalls in 48 hours, in mm*). ≥ 20 : nombre de jours où les précipitations ont égalé ou dépassé 20 mm (*number of days with height of rainfalls superior or equal to 20 mm*). Ev. : évaporation (Piche) au Luc, en mm (*evaporation at Luc, in mm*).

TABLEAU III - Parcelle déboisée ; 1972-73 : ruissellement et facteurs climatiques.

TABLE III - Bare plot; 1972-73: runoff and climatic factors.

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	At
C	41,6	32,5	0,3	30,6	10,5	21,6	0,3	9,6	0	0	22,7	16,2
V	8873	9549	18	6385	1635	1710	30	515	0	0	897	750
P	124,2	171,2	27,8	121,4	90,6	46	48	31	4,4	4,8	23	27
i. moy.	19,1	23,7	2,1	3,3	3	7,3	2,1	5,6	1,1	1,8	97,6	44,7
i. méd.	18	6,4	2	3,4	2,6	2,5	2,4	3,6			102	60
i. Q1	3,4	3,2	0,9	2,2	1,9	1,9	1	2				
i. Q3	24	14,4	2,4	4,8	4,8	3,2	3	10,4				
P/2 j	80	81,8	10,4	81,4	28,2	36,8	28,2	27	3	4	22	23
≥ 20	1	4	0	2	2	1	1	1	0	0	1	1
T°C	16,2	14,1	11,7	7,3	10,5	8,1	7,9	11,1	17	21,3	19,6	19,1
Ev.	63,3	52,4						120,3	111,2	128,6	170,9	132

Voir tableau II (*see table II*).

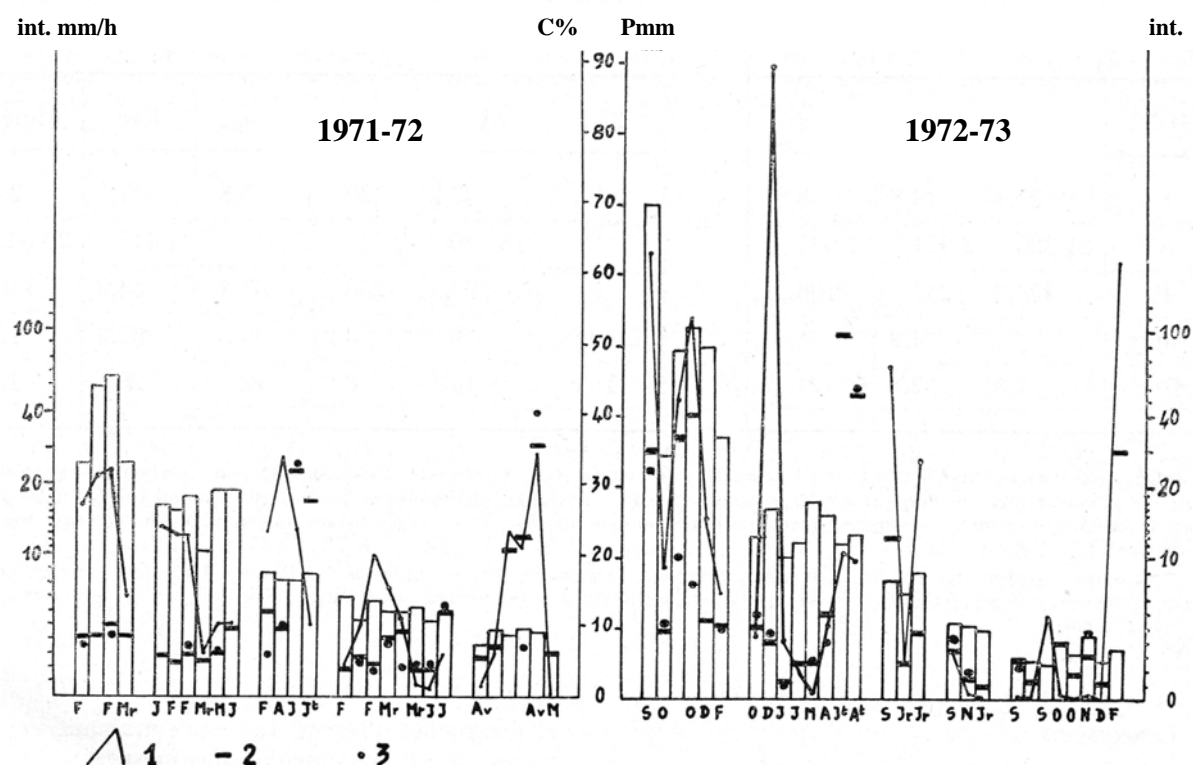


FIG. 2 - Parcelle déboisée : relation entre les précipitations et les coefficients de ruissellement.

FIG. 2 - Bare plot: relations between rainfalls and runoff coefficients.

Les précipitations sont classées par ordre chronologique à l'intérieur d'une tranche donnée – *rainfalls are classified by chronological order in each field* (> 30 mm ; 20-30 mm ; 15-20 mm ; 10-15 mm ; 5-10 mm). 1 : coefficient de ruissellement (*runoff coefficient*). 2 : moyenne arithmétique des intensités momentanées de la pluie (*arithmetic mean of momentary intensities of the rain*). 3 : médiane des intensités momentanées de la pluie (*median of momentary intensities of the rain*).

### ***B. Parcelle boisée (220 m<sup>2</sup>)***

Pour la période allant de janvier 71 à août 72, le coefficient de ruissellement a été de 0,83 % (volume ruisselé = 1288 l) :

1971-72	P (mm)	V (l)	C (%)
31-12 et 1-1	65,4	480	3,6
2-1	58,3	590	5
17, 18, 19, 20-2	132,4	125	0,47

Le fort coefficient du 28-12-72 est dû à la crue de l'Argens :

1972-73	P (mm)	V (l)	C (%)
28-10	52,4	75	0,71
28-12	27	2500	38
16-1	18,2	155	2,7
16-2	36,8	50	0,68
Année	719,4	2780	1,9

Les effets de cette crue se sont fait sentir, semble-t-il, jusqu'en février.

Une part, parfois considérable, du volume recueilli provenait du ruissellement sur le couvercle du chenal d'écoulement.

### ***C. Conclusions***

Les précipitations donnent lieu à deux sortes d'écoulement des eaux :

- Le ruissellement superficiel : de décembre 71 à août 73, près du quart des eaux précipitées sur la parcelle déboisée a participé à ce type d'écoulement. Le ruissellement ne s'est jamais organisé sur la parcelle boisée.
- L'infiltration : les eaux infiltrées participent à l'humectation et au drainage du sol et des roches altérées. Les eaux drainant verticalement le sol échappent à nos mesures.

Une étude systématique des relations entre l'apparition de sourcins en contrebas de la station, l'humectation des piézomètres implantés sur les parcelles (voir Fig. 4) et l'alimentation des cuves montre l'influence considérable de l'architecture des roches métamorphiques sur la circulation des eaux. La direction de la stratification et de la schistosité n'étant pas tout à fait perpendiculaire à la pente topographique, une partie de l'écoulement profond se fait selon cette direction. Cependant l'essentiel de l'écoulement se fait selon les fissures orientées comme la pente topographique. La circulation des eaux est plus abondante et plus rapide dans les bancs les plus altérés. Un banc peu altéré peut provoquer l'engorgement des roches altérées situées en amont. Si ce banc forme des chicots, le sol peut également être engorgé ; les eaux infiltrées reviennent à la surface alimenter le ruissellement superficiel. Les bancs peu altérés divisent le versant en plusieurs secteurs ; dans chaque secteur, l'écoulement est influencé par les conditions offertes à l'écoulement dans le secteur amont et dans le secteur aval.

Dans la partie supérieure des parcelles, un ruissellement hypodermique apparaît fréquemment, mais il est bloqué par les chicots. Le ruissellement hypodermique ne s'organise

jamais dans la partie inférieure de la parcelle déboisée ; il est exceptionnel dans la partie inférieure de la parcelle boisée.

## II. LES TRANSPORTS SOLIDES

En 71-72, de décembre à août, 196 kg de terre ont été arrachés à la parcelle déboisée (taux de dégradation spécifique = 10,3 t/ha/an – tabl IV). En outre, 75 kg avaient été arrachés le 9-11-71, mais la superficie de la parcelle n'était alors que de 90 m<sup>2</sup>.

En 72-73, 349 kg de terre ont été arrachés à la parcelle déboisée (taux de dégradation spécifique = 18,5 t/ha/an – Tab. IV).

Les pertes de la parcelle boisée ont été insignifiantes.

TABLEAU IV - Parcelle déboisée : les transports solides saisonniers.

TABLE IV - Bare plot: seasonal transport of solid matter.

71-72	A	H	P	E	72-73	A	H	P	E	Année
T		136	31	28	T	310	12,3	1,2	26	349
t		6,3	7,9	17,3	t	16,8	1,2	2,1	15,7	11,4
d			89	129,9	d	1141	147,9	21,5	1899	655,4

A : automne (*autumn*). H : hiver (*winter*). P : printemps (*spring*). E : été (*summer*). T : transports solides, en kg (*transports of solid matter, in kg*). t : charge solide des eaux, en g/l (*waters solids content, in g/l*).

$d = [\text{eau ruisselée (en l)} \times \text{intensité moyenne de la pluie (en mm/h)}] / \text{précipitations (en mm)}$ .

$d = [\text{runoff water (in l)} \times \text{average intensity of the rain (in mm/h)}] / \text{rainfalls (in mm)}$ .

### A. Parcelle déboisée : relation entre les transports solides et les facteurs climatiques

P. GABERT (1965) a souligné l'influence du gel sur l'érosion. Pendant la durée de notre étude, le gel est resté modéré ; en 72-73, le thermographe de notre station a enregistré 57 jours de gel au sol, mais la température n'est descendue qu'une seule fois en dessous de -5°C. Les précipitations de l'hiver 72-73 nous ont montré qu'un gel modéré n'avait pas un effet multiplicateur sensible sur l'érosion.

La figure 3 montre que la relation entre la turbidité des eaux et le coefficient de ruissellement est extrêmement lâche. En hiver, et plus particulièrement en février et en décembre 72, l'intervention d'eaux "hypodermiques" dans le ruissellement superficiel a permis des coefficients de ruissellement élevés, alors que les transports solides restaient faibles. De fortes intensités de la pluie favorisent une intense érosion. La figure ne témoigne pas d'un lien étroit entre la turbidité et l'indice d (qui renseigne sur le débit, en l/h, du chenal d'écoulement).

La turbidité des eaux écoulées a été maximale le 27-6 et le 26-9-72, pour des pluies brèves, relativement peu abondantes, mais dont l'intensité a été soutenue : ainsi les eaux fortement chargées n'ont pas été diluées dans la cuve.



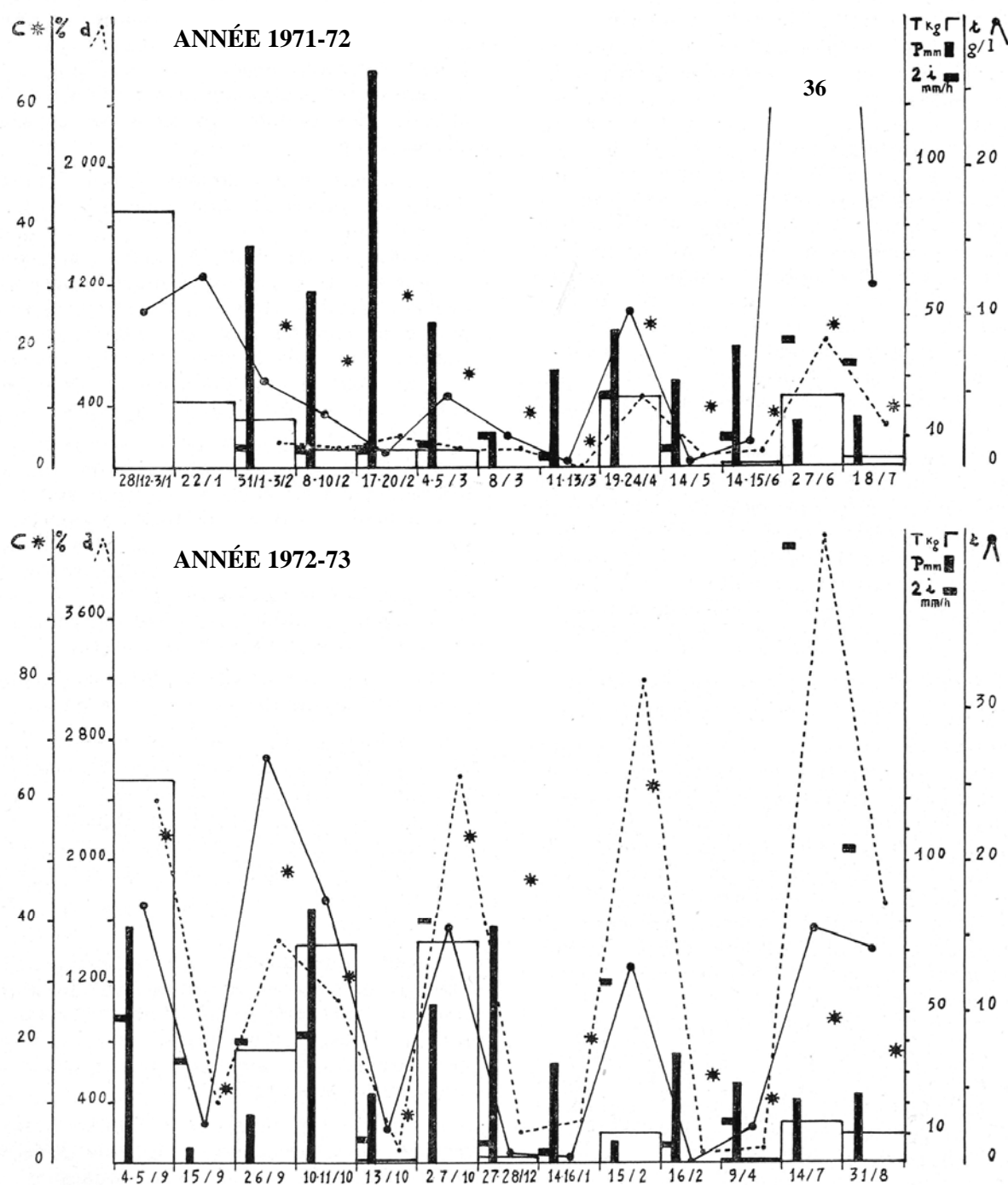


FIG. 3 - Parcelle déboisée : transports solides pour chaque pluie ayant provoqué une ablation supérieure à 100 g de terre.

FIG. 3 - Bare plot: transports of solid matter for each rain which caused a soil-loss superior to 100 g.

C : coefficient de ruissellement, en % (runoff coefficient, in %). d : indice d (indice d). T : transports solides, en kg (transports of solid matter, in kg). t : charge solide des eaux – turbidité –, en g/l (waters solids content – turbidity –, in g/l). P : précipitations, en mm (rainfalls, in mm). i : moyenne arithmétique des intensités momentanées de la pluie, en mm/h (arithmetic mean of momentary intensities of the rain, in mm/h).

Cette notion de dilution est insuffisante. Le 5-9-72, pendant une averse (8 mm à 96 mm/h), des eaux prélevées dans le chenal d'écoulement, alors que le débit instantané était de 9000 l/h, avaient une turbidité de 3,6 g/l. Des eaux prélevées le 31-8-72 avaient une turbidité de 3,7 g/l. Pendant les averses très violentes (15,2 mm à 90 mm/h le 11-10-72 ; 14,8 mm à 120 mm/h le 27-10), une lame d'eau épaisse se forme à la surface du sol ; elle empêche l'impact de la pluie sur le sol. Lors de ces averses, la quantité de terre enlevée est importante, car le coefficient de ruissellement dépasse souvent 80 %. La turbidité moyenne des eaux écoulées lors d'une violente averse est d'autant plus forte que l'averse est plus courte.

À volumes d'eau précipités égaux (et importants), une pluie très violente est moins efficace qu'une pluie d'intensité moyenne. Cette règle souffre des exceptions, surtout en été : il faudrait pouvoir considérer la différence entre l'intensité de la pluie et le débit par unité de section dans le sol. Si elle est nulle, le ruissellement n'apparaît pas et seule peut s'exercer le rejaillissement.

### ***B. Parcelle déboisée : les transports solides et les transformations subies par la parcelle***

Pendant l'hiver 71-72, la turbidité des eaux écoulées a été exceptionnellement élevée compte tenu des basses intensités de la pluie. On peut invoquer le bouleversement provoqué par l'aménagement de la parcelle, mais la persistance du phénomène met en évidence un facteur pédologique. L'horizon A<sub>11</sub> a une forte détachabilité en raison de sa structure grumeleuse. L'ablation de cet horizon a demandé quelque temps pendant lequel même les précipitations peu violentes ont paru agressives.

En 71-72, la terre fine a représenté plus de 90 % des transports solides. La part des cailloux a été négligeable. En 72-73, la terre fine a représenté moins de 80 % des transports solides et la part des cailloux s'est élevée à plus de 1 %. On peut interpréter la différence entre les deux années comme la conséquence de la répartition des précipitations : en 71-72, nous avons observé des précipitations hivernales abondantes mais à faibles intensités ; en 72-73, nous avons observé des précipitations automnales très violentes qui ont conféré au ruissellement superficiel une grande puissance. Cette explication n'apporte qu'une partie de la solution du problème.

Le 27-6-72, la terre fine et les graviers ont représenté respectivement 81,3 et 18,6 % des transports solides. Le 26-9-72, la terre fine et les graviers ont représenté respectivement 68,3 et 26,9 % des transports. Or les précipitations du 27-6 et du 26-9 ont eu des caractères identiques pour l'abondance et pour l'intensité et elles ont engendré des écoulements semblables par le coefficient de ruissellement et par l'indice d. La texture de la couche superficielle du sol est devenue de plus en plus grossière par lavage des éléments fins.

La proportion des cailloux dans les transports solides est passée de moins de 0,1 % pour les précipitations des 4 et 5-9-72 à 1,5 % pour les précipitations du 14-7-73. Cette augmentation s'explique par le déchaussement progressif des cailloux. Celui-ci suppose un creusement profond parfois de plus de deux centimètres, autour des cailloux. Une fois le déchaussement réalisé, les cailloux sont mobilisables par le ruissellement violent qui se réalise lors des averses les plus intenses.

À la fin de nos observations, le déchaussement des cailloux de la couche supérieure du sol était pratiquement réalisé sur toute la partie inférieure de la parcelle (pente = 29°) ; il était

à peine entamé sur la partie supérieure (pente = 19°). Les précipitations du 21-9-73 ont déplacé de nombreux cailloux (le plus volumineux pèse 279 g et atteint 13 cm de grand axe).

Une étude portant sur une période plus longue serait très instructive.

Le ruissellement superficiel n'a pas créé de ravines. Pourtant il s'organise fréquemment à l'extrémité inférieure de la parcelle. Les passages du ruissellement organisé se signalent à l'attention (en dehors des périodes de précipitations) par l'absence d'éléments grossiers sur le sol.

### ***C. Conclusions***

L'effet multiplicateur du défrichement est apparu immédiatement en raison de la faible stabilité structurale du sol. La destruction progressive de l'humus provoquerait une accentuation de l'érosion, mais sans doute moins spectaculaire que sur des sols argileux.

Les précipitations les plus agressives surviennent en automne et en été. Les pluies de saison fraîche (décembre à mai) ont de faibles intensités. En règle générale, l'automne doit être la saison la plus favorable à l'érosion.

Après un incendie, la végétation peut se reconstituer ; même en considérant que le climat actuel est très peu favorable à l'altération et que l'homme a souvent "aidé" à détruire la végétation, nos résultats ne permettent pas d'expliquer la minceur et la faible évolution des sols du massif des Maures.

## **III. LES TRANSPORTS EN SOLUTION**

Le calcium et le magnésium ont été dosés par complexométrie, le sodium et le potassium ont été dosés par spectrophotométrie de flamme, les teneurs en silice, en fer, en aluminium, en ions sulfates, en ions phosphates ainsi que le pH ont été déterminés par photolorimétrie (appareil, méthodes et produits de Hach Chemical Company). Les analyses ont été effectuées après filtration et décantation.

### ***A. Parcelle déboisée***

Les eaux de la parcelle déboisée sont plus ou moins troubles. Après décantation, elles restent colorées en jaune ou en brun, par la matière organique. Cette coloration est très marquée en été.

Les eaux écoulées ont un pH variable : 5,2 à 7,4. Il n'y a pas de relation entre le pH des eaux écoulées et celui des eaux de pluie (nous avons mesuré des pH d'eaux de pluie compris entre 4,7 et 8,1. Les eaux des pluies nocturnes ont un pH plus élevé que les eaux des pluies diurnes).

Les eaux prélevées le 11-10-72 dans le piézomètre D<sub>1</sub> ( $\varphi = 7000$  ohms/cm ; pH = 7,1) prouvent que la minéralisation peut jouer sur le pH des eaux infiltrées (pour la localisation des piézomètres, voir Fig. 4). La minéralisation des eaux ruisselées a toujours été trop faible pour expliquer des pH basiques.

Le dégagement du gaz carbonique, lors du ruissellement d'eaux "hypodermiques" ramenées à la surface en période d'engorgement du sol, est un facteur important. Le 27-10-72, des eaux infiltrées ramenées à la surface avaient un pH de 5,4 ; après avoir ruisselé sur une distance de 20 m, elles avaient un pH de 7,4. Le 28-12-72, les eaux du piézomètre D<sub>1</sub> avaient un pH de 5,6 alors que les eaux ruisselées, d'origine hypodermique, avaient un pH de 7,1.

Enfin, les acides organiques permettent de comprendre l'acidité des pH mesurés le 5-9-72 (5,5 et 5,6) et le 31-8-73 (5,2).

La résistivité des eaux ruisselées a toujours dépassé 10000 ohms/cm (la moyenne est supérieure à 30000 ohms/cm) ; c'est dire leur très faible minéralisation.

Si l'on considère les résultats statistiques, la minéralisation est maximale en hiver (Tab. V).

En ne tenant pas compte des écoulements influencés par des eaux "hypodermiques", la minéralisation est minimale en hiver. Elle est plus accentuée en automne et au printemps ; elle est maximale en été ( $\varphi = 12000$  ohms/cm en juillet 72).

TABLEAU V - Parcelle déboisée ; 1972-73 : résistivité des eaux ruisselées (en ohms/cm).

TABLE V - Bare plot; 1972-73: resistivity of run-off waters (in ohms/cm).

	Automne	Hiver	Printemps
Moy.	33 236	24 709 et <b>46 878</b>	35 063
Méd.	36 000	20 000 et <b>54 000</b>	32 000
Q1	28 000	17 200 et <b>44 000</b>	32 000
Q3	40 000	31 000 et <b>54 000</b>	42 000

Moy. : moyenne (*average*). Méd. : médiane (*median*). Q1 et Q3 : quartiles (*quartils*). **46 878** : valeur hivernale non influencée par des eaux "hypodermiques" (*wintery value uninfluenced by "hypodermic" waters*).

Nous ne saurions trop mettre en lumière l'influence considérable de l'agressivité mécanique de la pluie. En automne 72, la résistivité a été minimale le 26-9 (12000 ohms/cm), pour des eaux dont la turbidité était extrêmement forte. La résistivité a été beaucoup plus forte pendant des averses très violentes, mécaniquement moins agressives (35000 ohms/cm le 5-9 à 16h45 ; 40000 ohms/cm le 11-10 à 14h45 et le 27-10). La résistivité a été maximale pour des averses peu violentes tombant sur un sol gorgé d'eau (40000 ohms/cm le 5-9 à 17h ; 55000 ohms/cm le 13-10 et 60000 ohms/cm le 14-10). Elle a été plus basses lors de précipitations tombant sur un sol peu humide (22000 ohms/cm le 5-9 ; 16000 ohms/cm le 15-9 et le 11-10).

La charge en produits dissous des eaux de ruissellement dépend en grande partie de l'efficacité mécanique de la pluie. Cette constatation diminue la portée de l'étude des transports en solution sur parcelle déboisée.

Les fortes teneurs en cations basiques, et plus particulièrement en calcium, des eaux ruisselées en décembre 71 (teneur moyenne : en cations basiques = 1,19 mé/l, en calcium =

0,74 mé/l) et en janvier 72 (teneur moyenne : en cations basiques = 0,98 mé/l, en calcium = 0,58 mé/l) s'expliquent par l'ablation de l'horizon A<sub>11</sub> du sol (teneurs, en mé/100 g, en cations basiques échangeables de l'horizon A<sub>11</sub> :  $\text{Ca}^{++} = 39,58$  ;  $\text{Mg}^{++} = 4,09$  ;  $\text{K}^+ = 0,23$  ;  $\text{Na}^+ = 0,40$  <sup>(3)</sup>). L'échantillon du sol a été prélevé à la fin du mois d'août 72 sur la parcelle boisée).

Mis à part les écoulements (hivernaux) influencés par des eaux "hypodermiques", les teneurs sont maximales en saison chaude et minimales en saison froide (Tab. VI). Les teneurs maximales en calcium, en magnésium et en potassium se placent en été ; les teneurs en sodium ont un maximum principal en hiver (la dilution de la solution du sol favorise la mobilité de cet élément) et un maximum secondaire en été. En été, les eaux ruisselées ont une turbidité élevée ; en outre, l'agressivité chimique des eaux est accrue par des acides organiques et par l'ionisation résultant d'une intense radiation solaire, tandis que la vitesse des réactions est plus grande. L'évolution comparée des teneurs en calcium et en magnésium s'explique par l'action sélective de la remontée estivale des cations basiques ; elle enrichit la partie supérieure du sol essentiellement en calcium (teneurs, en mé/100 g, en cations basiques échangeables de la couche superficielle du sol – épaisseur = 1 mm – sur la parcelle déboisée à la fin du mois d'août 72 :  $\text{Ca}^{++} = 28$  ;  $\text{Mg}^{++} = 1,78$  ;  $\text{K}^+ = 0,16$  ;  $\text{Na}^+ = 0,24$  <sup>(3)</sup>). La vitesse de minéralisation de la matière organique intervient pour partie dans l'augmentation estivale des teneurs ; la minéralisation des débris végétaux tombés à la surface du sol explique la forte augmentation des teneurs en potassium. Le dernier facteur qu'il faut envisager dans l'analyse de l'exportation des cations basiques concerne l'origine des eaux de pluie : en hiver, les eaux de pluie ont une origine marine et leur teneur en sodium doit être relativement forte ; en été, les orages de convection qui prennent naissance sur la Provence calcaire apportent des eaux dans lesquelles le magnésium et plus encore le calcium et le potassium doivent être mieux représentés.

Les teneurs en silice n'ont dépassé 2 mg/l que lorsque des eaux "hypodermiques" intervenaient dans le ruissellement. Les fortes teneurs enregistrées les 15 (14 mg/l) et 20 (12 mg/l) janvier 72 sont dues à l'ablation de l'horizon A<sub>11</sub> du sol. Mis à part les écoulements influencés par des eaux "hypodermiques", les teneurs en silice suivent la courbe des températures : elles sont maximales en été et minimales en hiver et au début du printemps (Tab. VII). En automne, elles ont fréquemment dépassé 1 mg/l.

Les teneurs en fer ont très souvent été inférieures à 0,1 mg/l. En été, les teneurs dépassent 1 mg/l. Le fer est alors exporté sous sa forme ferrique, complexé à des anions solubles (31-8-73 : fer total = 3,8 mg/l ; fer ferreux = 0,07 mg/l). Les fortes chaleurs estivales favorisent la formation de substances chélatantes ; la dessiccation du sol empêche la biodégradation des complexes organo-métalliques. En automne, le développement de l'activité biologique fait tomber les teneurs à des valeurs modestes : l'intense activation de la vie biologique qui suit l'humidification du sol desséché favorise la destruction des complexes organo-métalliques (teneurs minimales au début du mois d'octobre). Même en hiver, pendant les périodes d'engorgement, le fer ferreux ne représente qu'une petite partie du fer exporté (28-12-72 : fer total = 0,11 et 0,21 mg/l ; fer ferreux = 0,02 mg/l).

Les teneurs en aluminium sont encore plus faibles. Comme pour le fer, et pour les mêmes raisons, elles sont maximales en été.

<sup>3</sup> Les analyses ont été effectuées par le laboratoire d'analyses industrielles Audiffren à Toulon. Les résultats sont instructifs, même si l'on peut hésiter à les comparer à ceux obtenus par l'I.N.R.A. d'Antibes.

TABLEAU VI - Parcelle déboisée : teneurs des eaux ruisselées en cations basiques (valeurs saisonnières, en mé/l).

TABLE VI - Bare plot: basic cations contents of runoff waters (seasonal values, in mé/l).

71-72	Hiver		Printemps		Été	
	Moy.	Méd.	Moy.	Méd.	Moy.	Méd.
Ca <sup>++</sup>	0,41	0,21	0,16	0,17	0,38	0,33
Mg <sup>++</sup>	0,15	0,099	0,10	0,10	0,15	0,15
K <sup>+</sup>	0,034	0,03	0,037	0,035	0,096	0,10
Na <sup>+</sup>	0,12	0,13	0,049	0,052	0,058	0,06
Σ bases	0,72	0,49	0,35	0,38	0,69	0,68

72-73	Automne		Hiver		Hiver		Printemps	
	Moy.	Méd.	Moy.	Méd.	Moy.	Méd.	Moy.	Méd.
Ca <sup>++</sup>	0,15	0,11	0,19	0,16	0,095	0,089	0,073	0,059
Mg <sup>++</sup>	0,096	0,089	0,097	0,099	0,051	0,06	0,098	0,10
K <sup>+</sup>	0,045	0,043	0,026	0,025	0,022	0,017	0,029	0,033
Na <sup>+</sup>	0,037	0,034	0,134	0,147	0,091	0,056	0,042	0,052
Σ bases	0,33	0,31	0,45	0,50	0,26	0,22	0,24	0,24

*Hiver* : valeurs hivernales non influencées par les eaux "hypodermiques" (wintry values uninfluenced by "hypodermic" waters).

TABLEAU VII - Parcelle déboisée : composition chimique des eaux ruisselées (valeurs saisonnières, en mg/l).

TABLE VII - Bare plot: chemical composition of runoff waters (seasonal values, in mg/l).

71-72	Hiver		Printemps		Été	
	Moy.	Méd.	Moy.	Méd.	Moy.	Méd.
SiO <sub>2</sub>	4,8	4,6	0,74	0,50	1,30	1,50
Fer	0,13	0,15	0,14	0,09	1,17	1,15
Al <sup>+++</sup>	-	-	-	-	0,23	0,18
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	-	-	2,90	1,50	2,70	2,50
PO <sub>4</sub> <sup>---</sup>	-	-	-	-	0,30	0,42

72-73	Automne		Hiver		Hiver		Printemps		Août
	Moy.	Méd.	Moy.	Moy.	Méd.	Méd.	Moy.	Méd.	
SiO <sub>2</sub>	0,73	0,42	3,80	4,40	0,49	0,50	0,79	0,65	1,80
Fer	0,16	0,15	0,13	0,11	0,098	0,10	0,27	0,22	3,80
Al <sup>+++</sup>	0,032	0,025	0,035	0,04	0,019	0,03	0,03	0,04	0,08
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	3,90	3,50	9	9	6,10	5	9	9	12
PO <sub>4</sub> <sup>---</sup>	0,09	0,09	0,31	0,31	0,26	0,21	0,30	0,39	0,30
A.N.	0,74	0,55	0,14	0,12	0,26	0,13	0,28	0,33	-

*Hiver* : valeurs hivernales non influencées par les eaux "hypodermiques" (wintry values uninfluenced by "hypodermic" waters). - : manque de mesures (lack of measures). A.N. : azote nitrique (nitrate nitrogen).

Les teneurs en azote nitrique ont été maximales pendant les mois à forte activité biologique : juin 72 (méd. = 2,7 mg/l), septembre 72 (méd. = 0,55 mg/l) et octobre 72 (méd. = 0,73 mg/l). Elles ont été minimales en juillet 72 (méd. = 0,02 mg/l) : la dessiccation du sol a provoqué une intense dénitrification. En hiver, les teneurs les plus faibles ont été enregistrées lorsque l'écoulement était influencé par des eaux "hypodermiques" : une hydromorphie anaérobie modérée entraîne une dénitrification.

Les ions phosphates ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) ont eu une évolution différente. Les teneurs ont été relativement fortes au printemps 72 et pendant la saison fraîche de l'année climatique 72-73. Elles ont été minimales en automne 72. La dessiccation du sol a bouleversé la microflore tellurique. Après l'exportation par les pluies de juillet (méd. = 0,45 mg/l) et des premiers jours de septembre (max. = 0,9 mg/l) des ions phosphates formés en mai (méd. = 0,4 mg/l) et en juin (méd. = 0,42 mg/l) 72, les teneurs sont tombées très bas (min. = traces). L'activité biologique était peut-être favorable à la réorganisation du phosphore. Les teneurs ont remonté en octobre (méd. = 0,11 mg/l), grâce, sans doute, à la multiplication de la microflore intervenant dans la minéralisation des composés phosphorés.

Les teneurs en ions sulfates sont faibles. Les ions  $\text{SO}_4^{2-}$  peuvent être fournis par certains minéraux des roches (notamment des amphibolites qui affleurent au-dessus de la station). Cependant, il est vraisemblable qu'ils sont essentiellement apportés par les eaux de pluie. L'augmentation des teneurs entre 71-72 et 72-73 résulte du développement des phénomènes de sulfo-oxydation. En effet, les violentes averses automnales et surtout la montée du niveau de la nappe phréatique de l'Argens, consécutive à la crue du 28-12-72 ont provoqué l'engorgement du sol jusqu'en surface. La sulfo-oxydation s'accompagne d'une dénitrification.

### ***B. Parcelle boisée***

L'alimentation de la cuve n'est assurée par un ruissellement hypodermique abondant que pendant les périodes d'engorgement du sol en eau. Les eaux sont colorées en jaune par la matière organique.

En période de fort ruissellement hypodermique, les eaux sont très légèrement acides et faiblement minéralisées ( $\varphi = 12000$  à  $17000$  ohms/cm). Les teneurs en silice ont toujours dépassé 4 mg/l ; elles sont restées inférieures à 6,9 mg/l (les précipitations de saison chaude n'ont occasionné aucun écoulement). Les teneurs en fer ont oscillé entre 0,16 et 0,34 mg/l. Malgré l'engorgement du sol, le fer ferreux n'est pas abondant (28-12-72 : fer total = 0,23 mg/l ; fer ferreux = 0,03 mg/l). Les teneurs en cations basiques sont légèrement supérieures à celles des eaux de la parcelle déboisée lorsque le ruissellement est influencé par des eaux "hypodermiques".

Teneurs, exprimées en mé/l, en cations basiques des eaux recueillies dans la cuve pendant les périodes (hivernales) de fort ruissellement hypodermique :

	Moyenne	Médiane
Ca <sup>++</sup>	0,33	0,33
Mg <sup>++</sup>	0,16	0,18
K <sup>+</sup>	0,083	0,071
Na <sup>+</sup>	0,18	0,19
Σ bases	0,75	0,71

Les teneurs en azote nitrique n'ont pas dépassé 0,15 mg/l. En revanche, les teneurs en ions phosphates ont été relativement fortes (0,19 à 1,65 mg/l). Les teneurs en ions sulfates ont été assez constantes (7 à 11 mg/l).

L'interprétation de la composition chimique des eaux recueillies pendant les périodes de faible ruissellement hypodermique est pratiquement impossible. Tout au plus, peut-on constater la faiblesse des teneurs des eaux "hypodermiques" <sup>(4)</sup> en silice (inférieures à 3 mg/l), en ions sulfates (parfois inférieures à 2 mg/l) et en fer (inférieures à 0,1 mg/l).

Les eaux prélevées dans les piézomètres ont révélé une légère acidité (pH : 5,3 à 6,7) et une très faible minéralisation ( $\varphi$  = 12000 à 28000 ohms/cm).

Les eaux prélevées dans la cuve et dans le piézomètre B3 (Fig. 4) sont sensiblement plus riches en cations basiques (surtout en potassium) que celles prélevées dans les piézomètres B1 et B2 : dans la partie inférieure de la parcelle, la litière et l'horizon A<sub>11</sub> sont plus épais sous une végétation plus dense. Les eaux du piézomètre D1 sont plus riches en potassium que celles des piézomètres B1 et B2 ; c'est une conséquence du défrichement.

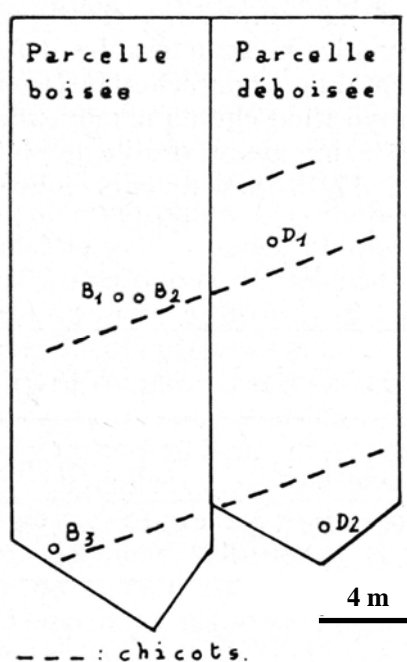


FIG 4 - Localisation des piézomètres.

FIG. 4 - Location of piezometers.

Les piézomètres sont enfoncés de (*depth of piezometers in the soil*) : B1 = 18 cm ; B2 = 11 cm ; B3 = 17 cm ; D1 = 25 cm ; D2 = 22 cm. Les piézomètres B1, B3, D1 et D2 sont enfoncés jusqu'à la surface de contact entre le sol et les micaschistes altérés (*the piezometers B1, B3, D1 et D2 are driven in to the limit between the soil and the weathered micashists*).

<sup>4</sup> Par opposition aux eaux qui ruissellent sur le couvercle du chenal d'écoulement.



Les eaux prélevées au début de l'engorgement du sol, alors que la lame d'eau au fond des piézomètres est peu épaisse, sont pauvres en silice et en ions sulfates, riches en calcium et en azote nitrique. Lorsque l'humidité du sol est proche de la capacité maximale, l'activation de la sulfo-oxydation entraîne une augmentation de la teneur en ions sulfates et un effondrement de la teneur en azote nitrique. L'engorgement du sol provoque une nette diminution de la teneur en calcium, alors que les teneurs en magnésium, en potassium et en sodium restent relativement plus stables (l'augmentation de la teneur en sodium est cependant sensible). Lorsque l'engorgement du sol est provoqué par des averses extrêmement violentes (automne 72), la teneur en calcium s'effondre avant la montée de la teneur en silice ; lorsqu'il est provoqué par le blocage de l'écoulement oblique au niveau des roches (hiver 72-73), l'accroissement de la teneur en silice précède la baisse de la teneur en calcium :

- La teneur en silice est commandée par le temps de contact entre l'eau et le sol. En hiver, le temps de contact est long, car les eaux participent à un drainage oblique du sol avant d'arriver aux zones d'engorgement situées derrière les alignements de chicots.
- La teneur en calcium est commandée par les échanges entre l'eau et le complexe adsorbant ; ils sont sous la dépendance de la dilution du sol.

Pendant l'automne 72, les teneurs en ions phosphates des eaux des piézomètres de la parcelle boisée ont été supérieures à celles des eaux du piézomètre D1. L'action de la dessiccation et, plus encore, des fortes chaleurs estivales du sol de la parcelle déboisée (la station est à l'adret) sur la microflore tellurique responsable de la minéralisation des composés phosphorés est ainsi démontrée.

Les eaux récoltées, en été, dans la cuve de la parcelle déboisée, montrent que les substances chelatantes agissent essentiellement sur le fer. Avec la destruction, au début de l'automne, des complexes organo-métalliques, les teneurs en aluminium des eaux des piézomètres ont dépassé les teneurs en fer (teneurs en aluminium = jusqu'à 0,21 mg/l ; teneurs en fer = moins de 0,06 mg/l). À la fin de l'automne et en hiver, des acides organiques solubles se formant en périodes d'anaérobiose temporaire, les teneurs en fer ont dépassé les teneurs en aluminium (fer = 0,13 à 0,34 mg/l ; aluminium = 0,01 à 0,12 mg/l). Le fer et l'aluminium libres sont mobiles : ils subissent un lessivage mécanique. Les teneurs en fer et en aluminium libres sont maximales quand le drainage oblique du sol est rapide ; elles sont minimales quand le drainage oblique se ralentit ou quand le sol est engorgé.

Les eaux prélevées à des sourcins qui apparaissent en contrebas de la parcelle lors des pluies abondantes, ont un pH généralement voisin de 5,5. Leur minéralisation est légèrement plus accentuée que celle des eaux de la cuve et des piézomètres ( $\varphi = 9400$  et  $16400$  ohms/cm).

Les eaux de drainage des sols s'enrichissent, au niveau des roches altérées, en silice, en sodium et en magnésium. Les teneurs en calcium restent presque inchangées. L'évolution des teneurs en potassium est plus difficile à discerner, car la litière et l'horizon A<sub>11</sub> n'ont pas une épaisseur constante sur l'ensemble du versant. Une partie des cations basiques du complexe adsorbant et des eaux de drainage de l'horizon A<sub>12</sub> a été prélevée en profondeur et restituée par la végétation. Ce phénomène est surtout évident pour le calcium (l'élément le plus abondant dans les litières). Dans un sol "brun-ranker", proche de la station, le rapport  $\text{Ca}^{++}/\text{Mg}^{++}$ , en mé, est de 3,6 dans le complexe adsorbant de l'horizon A<sub>12</sub> ; il n'est que de 1,3 dans le complexe adsorbant de l'horizon (B)C (dans les eaux de drainage, le rapport  $\text{Ca}^{++}/\text{Mg}^{++}$  diminue en profondeur, alors que la teneur en calcium reste presque inchangée).

Calcium, magnésium et potassium participent à un cycle de matière duquel le sodium est pratiquement exclu ; celui-ci doit être apporté en quantité non négligeable par les précipitations de secteur SE (qui ont une origine marine ; la mer est à moins de 20 km).

### C. Conclusions

Considérant que le sol a une capacité de rétention équivalente à une lame d'eau de 25 mm et que la végétation est capable d'arrêter une quantité d'eau équivalente à une lame d'eau de 5 mm, nous avons apprécié (en procédant pluie par pluie et en essayant de considérer les effets de l'évaporation et de l'évapotranspiration) le drainage *per descensum* des parcelles pendant l'année 72-73 : 60000 litres environ ont traversé l'horizon A du sol de la parcelle boisée et près de 40000 litres ont traversé l'horizon A du sol de la parcelle déboisée.

À partir de la composition chimique des eaux prélevées dans les piézomètres des deux parcelles et dans la cuve de la parcelle boisée, nous avons établi la composition chimique moyenne (approximative) des eaux ayant drainé le sol des deux parcelles en 72-73 (les teneurs sont exprimées en mg/l) :

	Si <sup>4+</sup>	Fer	Al <sup>3+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
PB	1,9	0,14	0,06	7,3	1,4	2,3	3,5	7,3	0,39	2,2
PD	2,0	0,10	0,08	8,6	1,6	2,3	3,6	5,1	0,23	2,9

PB : parcelle boisée. PD : parcelle déboisée.

Le défrichement, en favorisant le ruissellement superficiel, a pour effet de limiter les périodes d'engorgement du sol : la teneur moyenne en ions sulfates est plus faible sur la parcelle déboisée ; c'est l'inverse pour les teneurs moyennes en calcium et en ions nitrates. Le raccourcissement des périodes d'engorgement a pour effet de favoriser le ruissellement hypodermique lors des averses les plus violentes : les teneurs moyennes en silicium et en aluminium sont plus fortes sur la parcelle déboisée que sur la parcelle boisée. Les teneurs moyennes en potassium montrent l'influence de la nutrition des plantes (la litière et l'horizon A<sub>11</sub> ont disparu sur la parcelle déboisée). Les températures estivales du sol expliquent la faible teneur moyenne en ions phosphates des eaux de la parcelle déboisée.

Les indices de mise en solution <sup>(5)</sup> des cations basiques échangeables sont les suivants :

	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>
PB	69,5	86,2	166	801
PD	81,9	98,5	166	824

Les teneurs moyennes nous ont permis de calculer les pertes par érosion chimique (en kg/ha/an) pendant l'année 72-73 :

	Si <sup>4+</sup>	Fer	Al <sup>3+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
PB	5,6	0,41	0,17	21,5	4,1	6,7	10,3	21,5	1,15	6,5
Pd	5,8	0,25	0,16	18,9	3,7	5	8,7	13,9	0,58	6,3
PD	6,3	0,60	0,38	23	5,2	7,3	9,8	19,9	0,72	9,4

PB et PD : pertes totales sur les parcelles boisées et déboisées. Pd : parcelle déboisée, pertes par les eaux ayant drainé le sol (drainage *per descensum* et ruissellement superficiel d'eaux "hypodermiques").

<sup>5</sup> Ims = (élément de l'eau, en mé/l × 1000) / (élément du complexe adsorbant, en mé/100 g)

Le défrichement n'a pas eu un effet multiplicateur sur l'érosion chimique, du moins à court terme (mais il est vrai que les valeurs concernant la parcelle boisée font intervenir l'érosion de la litière et de l'horizon A<sub>11</sub>). Sur parcelle déboisée, la dégradation du sol résulte de l'ablation de la litière et de l'horizon A<sub>11</sub>, ainsi que de l'arrêt des phénomènes de remontées par la végétation. À long terme, la désaturation du complexe adsorbant et la destruction de l'humus favoriseraient l'érosion (mécanique et chimique), mais la végétation peut, en général, recoloniser rapidement les surfaces incendiées, ne serait-ce qu'au stade de maquis. La dégradation de la végétation n'est cependant pas sans répercussions sur les sols : Cl. MARTIN (1975).

## CONCLUSION GÉNÉRALE

Nos observations apportent quelques éléments d'explication des mécanismes de l'érosion et soulignent les conséquences du défrichement. Elles mettent en évidence un trait original des massifs de roches métamorphiques : l'influence de la relation entre la pente topographique et la direction de la stratification et de la schistosité. Quand la stratification et la schistosité à l'affleurement sont grossièrement perpendiculaires à la pente topographique (comme c'est le cas sur nos parcelles), les bancs de roches peu altérées peuvent gêner la circulation oblique des eaux infiltrées. Ceci a des répercussions sur l'érosion chimique :

- l'engorgement du sol active l'exportation du sodium, des ions sulfates et du fer ; il freine celle du calcium et des ions nitrates (le sol perd alors de l'azote par dénitrification) ;
- le ralentissement du drainage *per descensum* stimule l'exportation de la silice.

Pour importante qu'elle soit, la relation entre la pente topographique et la direction de la stratification et de la schistosité ne doit pas faire négliger les autres facteurs qui influent sur l'humectation des sols.

*Cet article a été rédigé à partir d'une thèse de 3<sup>ème</sup> cycle préparée sous la direction de M. le Professeur J. NICOD.*

## BIBLIOGRAPHIE

- BONN (F.), CLÉMENT (P.), 1974 : *Les installations expérimentales extérieures de géographie physique sur les terrains de l'Université de Sherbrooke*. Bulletin de Recherche n° 14, mars. Département de Géographie, Université de Sherbrooke, Québec, 65 p. dactyl.
- CLAUZON (G.), VAUDOUR (J.), 1969 : Observations sur les effets de la pluie en Provence. *Z. Geomorph.*, 4, Berlin-Stuttgart, pp. 390-405.
- CLAUZON (G.), VAUDOUR (J.), 1971 : Ruissellement, transports solides et transports en solution sur un versant aux environs d'Aix-en-Provence. *Rev. Géogr. Phys. Géol. Dyn.* (2), XIII, 5, Paris, pp. 489-504.
- GABERT (P.) : Recherches sur l'érosion dans deux bassins expérimentaux sous climat méditerranéen. Région d'Aix-en-Provence. *Publ. 66 de l'A.I.H.S.*, Symposium de Budapest, pp. 380-387.
- MARTIN (Cl.), 1973 : *Études de Géographie Physique dans la partie nord-occidentale du massif des Maures*. Thèse de 3<sup>ème</sup> cycle, Nice, 453 p. dactyl.

MARTIN (Cl.), 1975 : *Composition chimique des eaux et érosion des sols sur phyllades, dans le massif des Maures*. Note inédite fournie gracieusement par l'auteur sur demande, 20 p. dactyl.

MARTIN (Cl.), (à paraître) : Composition chimique des eaux de sources et de ruissellement de la partie cristallophyllienne du massif des Maures. *Colloque sur les versants méditerranéens*, Aix-en-Provence, 1975.

ROOSE É., 1972 : Comparaison des causes de l'érosion et des principes de lutte antiérosive en région tropicale humide, tropicale sèche et méditerranéenne. *Atti delle giornate di studio della 1a sezione C.I.G.R.*, Firenze, 1972.



Une vue de la parcelle défrichée. Vers le bas, on voit le pluviographe de la station et la cuve réceptrice de la parcelle.



Écoulement violent dans la cuve de la parcelle défrichée.